

DIN 4093**DIN**

ICS 93.020

Ersatz für
DIN 4093:2012-08**Bemessung von verfestigten Bodenkörpern –
Hergestellt mit Düsenstrahl-, Deep-Mixing- oder Injektions-Verfahren**Design of strengthened soil –
Set up by means of jet grouting, deep mixing or groutingDimensionnement des renforcements de sol –
Colonnes de sol-ciment réalisées par jet, colonnes de sol traité ou injection

Gesamtumfang 19 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

DIN 4093:2015-11

Inhalt	Seite
Vorwort	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe und Formelzeichen	5
3.1 Begriffe	5
3.2 Formelzeichen	7
4 Bodenverfestigung	8
4.1 Allgemeine Anforderungen	8
4.2 Zuordnung zu Geotechnischen Kategorien	9
4.3 Einwirkungen und Beanspruchungen	9
4.3.1 Allgemeines	9
4.3.2 Grundbauspezifische Einwirkungen	9
4.3.3 Dynamische Einwirkungen	10
4.3.4 Charakteristische Beanspruchungen	10
4.3.5 Bemessungswerte der Beanspruchung	10
4.4 Widerstände	10
4.4.1 Allgemeines	10
4.4.2 Charakteristische Festigkeit	10
4.4.3 Angaben zum Verformungsverhalten	12
4.4.4 Bemessungswert der Festigkeit	12
4.4.5 Verankerungen in Düsenstrahlsohlen	13
4.4.6 Abmessungen von verfestigten Bodenkörpern	13
4.5 Dauerhaftigkeit	14
4.6 Nachweis der Tragfähigkeit	14
4.7 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	15
4.8 Prüfungen und Kontrollen	15
Anhang A (normativ) Durchführung von Festigkeitsprüfungen	16
Anhang B (normativ) Durchführung von Kriechversuchen	17
B.1 Allgemeines	17
B.2 Bodenverfestigungen mit Zement	17
B.3 Bodenverfestigungen mit Silikatgel	18

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Arbeitsausschuss NA 005-05-08 AA, *Injektionen, Düsenstrahlverfahren, tiefreichende Bodenstabilisierung (Spiegelausschuss zu CEN/TC 288/WG 17 und WG 18)*, im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau) als Ergänzung zu DIN 1054:2010-12 und DIN EN 1997-1:2009-09 ausgearbeitet.

Planung, Ausführung und Prüfung des Eindüsens, des Einmischens beim Deep-Mixing und des Injizierens (Einpressen) im Untergrund erfordern gründliche Kenntnisse und Erfahrungen mit diesen Bauverfahren, bei denen der Boden als Baustoff herangezogen wird.

Wenn mit dem Eindüsen, Einmischen oder Einpressen in den Boden Stoffe in das Grundwasser eingebracht werden, bedarf es einer Erlaubnis nach dem Wasserhaushaltsgesetz. Die nach Landesrecht zuständigen Behörden sind rechtzeitig einzuschalten.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Änderungen

Gegenüber DIN 4093:2012-08 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Änderungen in den Abschnitten 2, 3 und 4;
- b) Überarbeitung des Abschnitts 4.4.2;
- c) Neuformulierung des Anhangs A;
- d) Neuformulierung des Anhangs B;
- e) Anpassung des englischen Titels;
- f) redaktionelle Überarbeitung.

Frühere Ausgaben

DIN 4093: 1962-06, 1987-09, 2012-08

DIN 4093:2015-11**1 Anwendungsbereich**

Diese Norm gilt für die Bemessung von unbewehrten Verfestigungskörpern als Tragelemente, die durch Eindüsen, Einmischen und Injizieren von verfestigenden Stoffen in Böden hergestellt werden, und deren Planung und Prüfung. Regelungen zu den verfestigenden Stoffen sind in DIN EN 12715, DIN EN 12716 und DIN EN 14679 enthalten.

Maßnahmen, die ausschließlich der Baugrundverbesserung, der Durchlässigkeitsänderung oder der Schadstoff-Immobilisierung dienen, sind nicht Gegenstand dieser Norm.

Die Verfestigung von Fels ist nicht Gegenstand dieser Norm.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 1045-2, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton — Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1*

DIN 1045-3, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton — Teil 3: Bauausführung — Anwendungsregeln zu DIN EN 13670*

DIN 1054:2010-12, *Baugrund — Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau — Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1*

DIN 4020, *Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke — Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2*

DIN 4150-3:1999-02, *Erschütterungen im Bauwesen — Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen*

DIN EN 206-1, *Beton — Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität*

DIN EN 1992-1-1, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

DIN EN 1997-1:2009-09, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC:2009*

DIN EN 1997-1/NA, *Nationaler Anhang — National festgelegte Parameter — Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 1: Allgemeine Regeln*

DIN EN 1997-2: *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds*

DIN EN 1997-2/NA, *Nationaler Anhang — National festgelegte Parameter — Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds*

DIN EN 12390-2:2009-08, *Prüfung von Festbeton — Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen; Deutsche Fassung EN 12390-2:2009*

DIN EN 12390-3, *Prüfung von Festbeton — Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern*

DIN EN 12504-1, *Prüfung von Beton in Bauwerken — Teil 1: Bohrkernproben — Herstellung, Untersuchung und Prüfung der Druckfestigkeit*

DIN EN 12715, *Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) — Injektionen*

DIN EN 12716, *Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) — Düsenstrahlverfahren (Hochdruckinjektion, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting)*

DIN EN 14199, *Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) — Pfähle mit kleinen Durchmessern (Mikropfähle)*

DIN EN 14679, *Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) — Tiefreichende Bodenstabilisierung*

3 Begriffe und Formelzeichen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1.1

Bodenverfestigungen

sind im Sinne dieser Norm Bodenbereiche, die durch Injektionsverfahren, Düsenstrahlverfahren oder Deep-Mixing-Verfahren gezielt verfestigt und in der Planung und Bemessung als Tragelemente berücksichtigt werden

3.1.2

charakteristische Festigkeit

Festigkeit, von der angenommen wird, dass sie unter Berücksichtigung der Nutzungsdauer des Bauwerks und der entsprechenden Bemessungssituation mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht unterschritten wird

3.1.3

Deep-Mixing-Verfahren

Verfahren, bei dem mechanische Werkzeuge den Boden an Ort und Stelle intensiv durchmischen und dabei ein Bindemittel einbringen

Anmerkung 1 zum Begriff: Das in DIN EN 14679 mit „Tiefreichende Bodenstabilisierung“ bezeichnete Verfahren wird in dieser Norm als „Deep-Mixing-Verfahren“ bezeichnet.

3.1.4

Düsenstrahlverfahren

Hochdruckinjektion, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting

Vorgang, der darin besteht, dass Boden oder mäßig festes Gestein in seine Bestandteile zerlegt und mit zementhaltiger Mischung versetzt bzw. teilweise durch diese Mischung ersetzt wird. Das Auflösen des Bodengefüges wird durch einen energiereichen Flüssigkeitsstrahl bewirkt, wobei die Flüssigkeit die Zementsuspension sein kann.

[QUELLE: DIN EN 12716:2001-12]

3.1.5

Eignungsprüfung

Prüfung vor Beginn der Bauausführung zum Nachweis, dass das Einbringverfahren mit dem Injektionsgut oder dem Bindemittel unter den Verhältnissen der betreffenden Aufgabenstellung für den jeweiligen Zweck geeignet ist

DIN 4093:2015-11

3.1.6

Grundsatzprüfung

Prüfung bei Bodenverfestigungen mit Silikatgel zum Nachweis der Eignung des Einpressguts unabhängig von der Verwendung im Einzelfall

3.1.7

Injektionsverfahren

Verfahren, bei dem das Korngefüge des Bodens durch Einpressen von Injektionsgut verfestigt wird

3.1.8

Kontrollprüfung

Prüfung zum Nachweis, dass der Verfestigungskörper die in den bautechnischen Unterlagen geforderten Eigenschaften erreicht hat

3.1.9

Reichweite beim Düsenstrahlverfahren

Strecke von der Achse des Düsenträgers betrachtet, auf der der Boden verfestigt wird

3.1.10

Reichweite bei Injektionen

Strecke von der Austrittsstelle aus betrachtet, auf der der Boden verfestigt wird

3.1.11

Verfestigungskörper

Bodenvolumen, das mit dem Injektionsverfahren bzw. Düsenstrahlverfahren oder Deep-Mixing-Verfahren verfestigt wird

3.1.12

Verfestigungsabschnitt

Bereich eines Verfestigungskörpers, für den einheitliche Bodenverhältnisse vorliegen sowie gleiche Herstellungsparameter und -abläufe gelten und für den die charakteristische Festigkeit einheitlich ermittelt wird

3.2 Formelzeichen

A_v	Fläche des zu I_v gehörenden Querschnitts des Verfestigungskörpers
d	Durchmesser der Zylinderprobe
E_d	Bemessungswert der Beanspruchungen
E_k	charakteristischer Wert der Beanspruchungen
$f_{b,k}$	charakteristische Verbundfestigkeit
$f_{b,d}$	Bemessungswert der Verbundfestigkeit
f_m	Zylinderdruckfestigkeit des Verfestigungskörpers (m für Material)
$f_{m,d}$	Bemessungswert der Druckfestigkeit des Verfestigungskörpers (m für Material)
$f_{m,k}$	charakteristische Zylinderdruckfestigkeit des Verfestigungskörpers (m für Material)
$f_{m,mittel}$	Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit der Proben einer Serie
$f_{m,min}$	Minimalwert der Zylinderdruckfestigkeit der Proben einer Serie
h	Höhe der Zylinderprobe
i	Trägheitsradius
I_v	Flächenmoment 2. Grades des kleinsten Querschnitts des Verfestigungskörpers
l_v	Verankerungslänge
R_d	Bemessungswerte der Widerstände
$R_{z,d}$	Bemessungswert des Widerstandes hinsichtlich des Verbunds von Druck- oder Zuggliedern in einem Verfestigungskörper
$R_{z,k}$	charakteristischer Wert des Widerstandes hinsichtlich des Verbunds von Druck- oder Zuggliedern in einem Verfestigungskörper
$R_{z,i}$	Herauszieh Widerstand beim Eignungsversuch
s	Verformung
s_k	Knicklänge
α	Beiwert zur Ermittlung der charakteristischen Druckfestigkeit aus dem Mittelwert von Prüfergebnissen
γ_a	Teilsicherheitsbeiwert für den Herauszieh Widerstand
γ_F	Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen und Beanspruchungen
γ_m	Teilsicherheitsbeiwert für die Zylinderdruckfestigkeit des Verfestigungskörpers
γ_φ	Teilsicherheitsbeiwert für den Reibungswinkel
δ	Erddruckneigungswinkel
$\Delta\varepsilon_K$	Unterschiedsbetrag der Kriechdehnung
ε_K	Kriechdehnung
λ	Schlankheit

DIN 4093:2015-11

σ	Druckspannung oder die Standardabweichung der Zahlenwerte des natürlichen Logarithmus der Einzelfestigkeiten
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	Hauptspannungen (siehe Bild 1)
σ_{cr}	konstante Druckspannung als Prüfbeanspruchung beim Kriechversuch
τ	Schubspannung
φ_{Boden}	Reibungswinkel des Bodens
φ_d	Bemessungswert des Reibungswinkels von verfestigtem Boden
φ'_d	Bemessungswert des effektiven Reibungswinkels des unverfestigten Bodens
φ'_k	charakteristischer Wert des effektiven Reibungswinkels

4 Bodenverfestigung**4.1 Allgemeine Anforderungen**

- (1) Zusätzlich zu DIN EN 12715, DIN EN 12716 und DIN EN 14679 sind DIN EN 1997-2, DIN EN 1997-2/NA und DIN 4020 für die Bodenuntersuchungen zu berücksichtigen.
- (2) Die grundsätzliche Eignung des Herstellungsverfahrens für die Bodenverfestigung muss in einem geotechnischen Untersuchungsbericht nachvollziehbar festgestellt werden.
- (3) Bei der Wahl und Planung des Herstellungsverfahrens sind Zustand und Abstand vorhandener baulicher Anlagen, insbesondere hinsichtlich ihrer Verformungsempfindlichkeit zu beachten.

ANMERKUNG Die Durchführung einer Beweissicherung an baulichen Anlagen wird empfohlen.

- (4) Wenn ein Verfestigungskörper als Teil einer Gründung oder eines Stützbauwerkes geplant wird, sind die zugehörigen Sicherheitsnachweise nach DIN EN 1997-1, DIN EN 1997-1/NA und DIN 1054 zu erbringen.
- (5) Sofern bei verfestigten Bodenkörpern, die durch Wasserdruck beansprucht sind, bei einem lokalen Verlust der Dichtigkeit die Standsicherheit gefährdet ist, sind zwei voneinander unabhängige Abdichtungsebenen oder eine zusätzliche andere Sicherungsmaßnahme vorzusehen.
- (6) Bei Entwurf und Bemessung von Verfestigungskörpern sind die Auswirkungen der Bodenverhältnisse einschließlich ihrer Schichtung und gegebenenfalls eingelagerter Hindernisse auf die Form und Festigkeit des Verfestigungskörpers zu berücksichtigen.
- (7) Bei Entwurf und Bemessung von Bodenverfestigungen sind Festlegungen über den Arbeitsablauf, die zulässigen Toleranzen und erforderlichen Festigkeiten zu treffen. Es muss sichergestellt sein, dass der eingebrachte Stoff nicht durch Erosion ausgetragen wird.

4.2 Zuordnung zu Geotechnischen Kategorien

(1) Bodenverfestigungen sind in der Regel der Geotechnischen Kategorie GK 3 nach DIN 1054:2010-12, A.2.1.2, zuzuordnen.

(2) Die Einordnung in die Geotechnische Kategorie GK 2 ist möglich, wenn folgende Voraussetzungen alle erfüllt sind:

Bei der Bemessung der Verfestigungskörper wird

- bei Anwendung des Deep-Mixing-Verfahrens eine charakteristische Zylinderdruckfestigkeit von $f_{m,k} \leq 8 \text{ N/mm}^2$
- und bei anderen Bodenverfestigungen von $f_{m,k} \leq 4 \text{ N/mm}^2$

zu Grunde gelegt;

- der Verfestigungskörper wird nicht oder nur einseitig freigelegt;
- Unterfangungskörper oder Wände werden auf maximal 2 m Höhe und bei Injektionskörpern auf maximal 1 m Höhe freigelegt;
- bei Düsenstrahlkörpern ist die allseitig im Boden eingebettete Höhe maximal 4 m;
- auf den Verfestigungskörper wirkt kein Wasserdruck, der aus einer Wasserstands Differenz von mehr als 1 m entsteht;
- der Verfestigungskörper ist höchstens einem schwachen chemischen Angriff entsprechend der Expositions klasse XA1 (bzw. bei Sulfatangriff XA2) nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 ausgesetzt;
- es stehen gleichmäßige Bodenverhältnisse im zu verfestigenden Bereich an, die eine einheitliche Bodenverfestigung erwarten lassen;
- es treten keine dynamischen Beanspruchungen (siehe DIN 1054:2010-12, A.2.4.2.1) des Verfestigungskörpers auf, die die Werte nach DIN 4150-3:1999-02, Tabelle 1, Zeile 3, für Fundamente überschreiten.

4.3 Einwirkungen und Beanspruchungen

4.3.1 Allgemeines

Bei der Bodenverfestigung, welche abschnittsweise vorgenommen wird, kommt der Umlagerung der Gründungslasten eines bestehenden Bauwerks eine besondere Bedeutung zu. Dabei haben

- verfahrensbedingte Besonderheiten (z. B. noch nicht ausreichend erhärtete Bereiche) sowie
- der Bauablauf (z. B. Herstellreihenfolge),

Einflüsse, deren Auswirkungen zu berücksichtigen sind.

4.3.2 Grundbauspezifische Einwirkungen

(1) Bei der Ermittlung günstig wirkender Eigenlasten von Verfestigungskörpern zum Nachweis des Grenzzustandes des Verlustes der Lagesicherheit darf nur die Wichte des unbehandelten Bodens berücksichtigt werden. Höhere Wichten dürfen für die Bemessung nur angenommen werden, wenn durch Beprobung eine Erhöhung durch den Bindemittelanteil nachgewiesen wird. Geringere Wichten sind der Bemessung dann zugrunde zu legen, wenn es Hinweise etwa auf geringer zu erwartende Wichten für den Verfestigungskörper gibt.

DIN 4093:2015-11

(2) Bei der Ermittlung des Erddrucks auf Verfestigungskörper kann als maximaler Erddruckneigungswinkel $\delta = \varphi_{\text{Boden}}$ angesetzt werden.

(3) Negative Mantelreibung und Seitendruck sind gegebenenfalls wie für Pfahlgründungen nach DIN 1054:2010-12 und DIN EN 1997-1:2009-09, 7.3.2.2 und 7.3.2.4, zu berücksichtigen.

4.3.3 Dynamische Einwirkungen

Hinsichtlich dynamischer Einwirkungen wird auf DIN 1054:2010-12, A.2.4.2.1, verwiesen.

4.3.4 Charakteristische Beanspruchungen

(1) Die charakteristischen Werte der Beanspruchungen E_k des Verfestigungskörpers dürfen unter Zugrundelegung linear-elastischen Verhaltens bei Beachtung der nachfolgend und in 4.4 genannten Festigkeitsgrenzen ermittelt werden.

(2) Bei der Berechnung der Normalspannungen dürfen Zugspannungen rechnerisch nicht angesetzt werden. Außermittige Belastungen dürfen rechnerisch eine Rissöffnung (klaffende Fuge) höchstens bis zum Schwerpunkt des Gesamtquerschnitts bewirken. Ergibt die Berechnung eine Rissöffnung, so darf die Fläche im Bereich der Rissöffnung bei der Ermittlung der Schubspannungen nicht in Rechnung gestellt werden.

4.3.5 Bemessungswerte der Beanspruchung

Die zum Vergleich mit den Widerständen (Festigkeit des Verfestigungskörpers) erforderlichen Bemessungswerte der Beanspruchung (Ankerkräfte, Spannungen) sind nach DIN 1054:2010-12 und DIN EN 1997-1:2009-09, 2.4.7.3.2, zu ermitteln.

4.4 Widerstände**4.4.1 Allgemeines**

(1) In dieser Norm wird nur der Widerstand von Verfestigungskörpern behandelt. Die weiteren charakteristischen Werte und Bemessungswerte von Widerständen für Standsicherheitsnachweise von Verfestigungskörpern sind nach DIN EN 1997-1 und DIN 1054 zu ermitteln.

(2) Der Widerstand von Verfestigungskörpern ergibt sich mit den Festlegungen der 4.4.2 bis 4.4.4 im Zusammenhang mit den Abmessungen des Verfestigungskörpers, zu denen in 4.4.6 Vorgaben gemacht werden.

(3) Als Widerstände können im Rahmen dieser Norm neben Kräften auch Normal- und Schubspannungen verwendet werden.

(4) Sofern bei Prüfungen nach 4.8 die erforderliche Festigkeit nicht erreicht wird, sind Anpassungen der erforderlichen Festigkeit oder Anpassungen bei der Herstellung der Verfestigungskörper vorzunehmen oder Zusatzmaßnahmen festzulegen.

4.4.2 Charakteristische Festigkeit

(1) Als Kenngröße für die Festigkeit ist die Zylinderdruckfestigkeit f_m , die für $h/d = 2$ gilt, zu verwenden, aus der aufnehmbare Normal- und Schubspannungen ermittelt werden können.

(2) Die Prüfung der Zylinderdruckfestigkeit ist in Anhang A geregelt.

(3) Die einem Entwurf zugrunde gelegte charakteristische Zylinderdruckfestigkeit $f_{m,k}$ ist vor Beginn der Ausführung durch Eignungsprüfungen nachzuweisen und während der Ausführung durch Kontrollprüfungen zu bestätigen. Statt mit Eignungsprüfungen können die Festigkeiten aufgrund von Erfahrungen bei übertragbaren Bodenverhältnissen und Herstellparametern festgelegt werden.

(4) Mittelwert und Mindestwert nach (5) sind bei (5) a) aus mindestens 4 bzw. bei (5) b) mindestens 10 Einzelproben zu ermitteln. Die zugehörige Probenahme ist in Anhang A geregelt.

(5) Um nachzuweisen, dass die dem Entwurf für einen Verfestigungsabschnitt (siehe Anhang A) zugrunde liegende charakteristische Zylinderdruckfestigkeit $f_{m,k}$ erreicht ist, sind die Kriterien a) oder b) sowie ggf. c) einzuhalten:

a) Vereinfachter Nachweis, bezogen auf Mindestwert und Mittelwert

— bezogen auf den Mindestwert:

$$f_{m,\min} \geq f_{m,k} \quad (1)$$

— bezogen auf den Mittelwert:

$$\alpha \cdot f_{m,\text{mittel}} \geq f_{m,k} \quad (2)$$

$$\alpha = 0,6 \text{ bei } f_{m,\text{mittel}} \leq 4 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha = 0,75 \text{ bei } f_{m,\text{mittel}} \geq 12 \text{ N/mm}^2$$

Zwischenwerte sind linear zu interpolieren.

Beim vereinfachten Nachweis sind beide Kriterien (1) und (2) zu erfüllen.

b) Alternativ zulässiger Nachweis bei Probenzahlen von mindestens 10 in einem Verfestigungsabschnitt auf statistischer Grundlage

$$e^{(\mu - k \cdot \sigma)} \geq f_{m,k} \quad (3)$$

Dabei ist

μ der Mittelwert der Zahlenwerte des natürlichen Logarithmus der Einzelfestigkeiten;

σ die Standardabweichung der Zahlenwerte des natürlichen Logarithmus der Einzelfestigkeiten;

k der Annahmefaktor; $k = 1,28$ (10 %-Quantil).

c) Wenn Kriechversuche nach (7) und (8) erforderlich sind, ist $f_{m,k}$ auch zusätzlich nach Anhang B nachzuweisen.

6) Es dürfen nur charakteristische Zylinderdruckfestigkeiten

— beim Düsenstrahl- und Injektionsverfahren $f_{m,k} \leq 10 \text{ N/mm}^2$

— beim Deep-Mixing-Verfahren $f_{m,k} \leq 12 \text{ N/mm}^2$

angesetzt werden.

(7) Bei der Anwendung des Düsenstrahlverfahrens oder des Deep-Mixing-Verfahrens in bindigen Böden (Definition nach DIN 1054:2010-12, A.3.1.3) sind bei Zylinderdruckfestigkeiten von $f_{m,\text{mittel}} < 4 \text{ N/mm}^2$ Kriechversuche erforderlich.

(8) Beim Einsatz von Silikatgel als Injektionsmittel sind stets Kriechversuche erforderlich.

DIN 4093:2015-11

4.4.3 Angaben zum Verformungsverhalten

Sofern Verformungen eines Verfestigungskörpers für die Planung von Bedeutung sind, ist der für die Steifigkeitsermittlung erforderliche Modul des einaxialen Druckversuchs als maximale Steigung der Spannungs-Stauchungs-Linie zu bestimmen und bei der Berechnung zu berücksichtigen. Sofern Kriechen nach 4.4.2 untersucht werden muss, sind auch die Kriechverformungen zu ermitteln.

4.4.4 Bemessungswert der Festigkeit

(1) Aus der charakteristischen Zylinderdruckfestigkeit $f_{m,k}$ wird der Bemessungswert der Druckfestigkeit $f_{m,d}$ wie folgt abgeleitet.

$$f_{m,d} = 0,85 \times f_{m,k} / \gamma_m \quad (4)$$

Dabei ist

$f_{m,k}$ charakteristische Zylinderdruckfestigkeit, siehe 4.4.2.

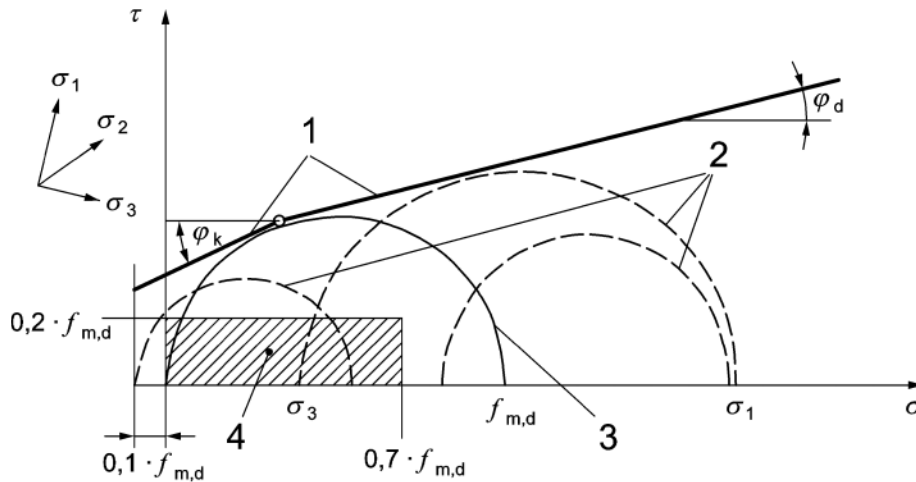
γ_m Teilsicherheitsbeiwert für die Zylinderdruckfestigkeit des Verfestigungskörpers

$\gamma_m = 1,5$ für Bemessungssituation BS-P und Bemessungssituation BS-T nach DIN 1054:2010-12

$\gamma_m = 1,3$ für Bemessungssituation BS-A nach DIN 1054:2010-12.

ANMERKUNG Der Faktor 0,85 berücksichtigt mögliche Langzeiteinwirkungen auf die Druckfestigkeit und wird hier anders als bei der Regelung für unbewehrten Beton in DIN EN 1992-1-1 und DIN 1045-3 wegen einer höheren Verformbarkeit der Bodenverfestigung nicht auf 0,7 abgemindert.

(2) Bei der Bemessung einer Bodenverfestigung dürfen näherungsweise getrennte Nachweise für aufnehmbare Druck- und Schubspannungen geführt werden. Dann ist unter Bemessungsbeanspruchungen nachzuweisen, dass die Bemessungswerte der Normalspannungen den Wert $0,7 \times f_{m,d}$ und die Bemessungswerte der Schubspannungen den Wert $0,2 \times f_{m,d}$ nicht überschreiten, siehe Bild 1.



Legende

φ_d (verfestigter Boden) = φ'_d (unverfestigter Boden)

$\tan \varphi_d = \tan \varphi_k / \gamma_\varphi$

γ_φ nach DIN 1054:2010-12, Tabelle A.2.2

1 Einhüllende für zulässige Spannungszustände

2 Beispiele für Spannungszustände σ_1 , σ_3 , die als Bemessungswerte der Beanspruchung auftreten dürfen

3 Spannungszustand im einaxialen Druckversuch: $\sigma_3 = 0$, $\sigma_1 = f_{m,d}$

4 Zulässiger Bereich bei getrennten Nachweisen für Normal- und Schubspannungen

Bild 1 — Erläuterung von Spannungszuständen

(3) Bei differenzierten Nachweisen mit Hauptspannungen ist zu zeigen, dass die Bemessungswerte der Beanspruchung die in Bild 1 als zulässig definierten Spannungszustände nicht überschreiten. Dabei ist anzunehmen, dass bei einer Hauptzugspannung, deren Betrag größer ist als 10 % von $f_{m,d}$, der Körper aufreißen kann.

(4) Werden Verfestigungskörper als einzelne pfahlartige Tragglieder bemessen, müssen bei einer Querschnittsfläche von $\leq 1,7 \text{ m}^2$ folgende Bedingungen eingehalten werden:

- Bei einer Querschnittsfläche von $< 0,3 \text{ m}^2$ dürfen keine außermittigen Belastungen auftreten. Die Lasteinleitungsstruktur ist so auszubilden, dass der Körper mittig und ohne Horizontalkraft belastet wird. Ein Seitendruck infolge von Bodenbewegungen nach DIN EN 1997-1:2009-09, 7.3.2.4, muss ausgeschlossen werden.
- Bei einer Querschnittsfläche von $0,3 \text{ m}^2$ bis $1,7 \text{ m}^2$ sind Außermittigkeiten zulässig, jedoch muss der Querschnitt vollständig überdrückt sein.

4.4.5 Verankerungen in Düsenstrahlsohlen

(1) Die nachfolgenden Regelungen beziehen sich auf Verankerungen mit Haftverbund zwischen Mikropfählen nach DIN EN 14199 und Düsenstrahlsohlen bei Einbindungen von mindestens 1 m Länge und einer Nutzungsdauer von weniger als zwei Jahren. Die Pfähle sind dabei nach Erreichen der in der Planung festgelegten Festigkeit der Sohle herzustellen.

(2) Der einem Entwurf zugrunde liegende charakteristische Wert des Widerstands $R_{z,k}$ hinsichtlich des Verbunds von Druck- und Zuggliedern in Düsenstrahlsohlen ist durch Eignungsversuche an mindestens 3 % der vorgesehenen Anzahl der Pfähle, mindestens aber an 2 Pfählen zu ermitteln.

(3) Bei diesen Eignungsversuchen ist der charakteristische Wert des Widerstands $R_{z,k}$ hinsichtlich des Verbunds von Druck- oder Zuggliedern in Verfestigungskörpern nach DIN EN 1997-1:2009-09, 8.5.2, zu ermitteln. Der Herausziehungswiderstand $R_{z,i}$ ist die kleinste Prüfkraft, bei der eine Verformung s des Stahlzuggliedes und des Verfestigungskörpers in der Verankerungslänge l_v von maximal $s = 5 \times 10^{-3} \times l_v$ erreicht wird (Streuungsfaktor 1,0).

(4) Der Bemessungswert des Widerstands $R_{z,d}$ hinsichtlich des Verbunds von Druck- oder Zuggliedern beträgt:

$$R_{z,d} = R_{z,k} / \gamma_a \quad (5)$$

mit

$R_{z,k}$ = charakteristischer Wert hinsichtlich des Verbunds von Druck- oder Zuggliedern. Dieser ergibt sich aus dem Kleinstwert der Versuchsergebnisse $R_{z,i}$

$$\gamma_a = 1,4$$

4.4.6 Abmessungen von verfestigten Bodenkörpern

4.4.6.1 Allgemeines

(1) Bei der Planung der Abmessungen und bei der Dimensionierung von Verfestigungskörpern sind verfahrensbedingte Herstellungstoleranzen (z. B. Bohrabweichungen und Reichweitenunterschiede) zu berücksichtigen und zu dokumentieren.

(2) Als kleinste im Entwurf von Verfestigungskörpern zu planende Abmessung ist 40 cm einzuhalten. Bei allseitig frei stehenden Verfestigungskörpern ist eine Dicke bzw. ein Durchmesser von mindestens 60 cm einzuhalten.

DIN 4093:2015-11**4.4.6.2 Abmessungen bei Düsenstrahlkörpern**

(1) Die der Bemessung zugrunde liegenden Abmessungen von Düsenstrahlelementen, die sich aus der Reichweite ergeben, sind aus örtlichen Untersuchungen an Probeelementen (Eignungsprüfungen) zu bestimmen, sofern keine dokumentierten Erfahrungen in ähnlichen Bodenverhältnissen und mit gleichen Herstellparametern vorliegen.

(2) Für die Bemessung von Düsenstrahlkörpern sind charakteristische Außenabmessungen maßgebend. Für ihre Ermittlung ist die durch Probeelemente nachgewiesene Reichweite bei der Planung von Düsenstrahlkörpern um ein Vorhaltemaß zu reduzieren, welches im Einzelfall festzulegen ist und mindestens 5 % der Reichweite, jedoch mindestens 5 cm beträgt.

(3) Bei einzeln angeordneten Düsenstrahlelementen gilt: Die kleinste charakteristische Außenabmessung muss mindestens 1 m betragen. Das Vorhaltemaß ist auf 10 % der Reichweite zu erhöhen. Die Abmessung ist in jedem Fall örtlich durch Probeelemente nachzuweisen.

4.4.6.3 Abmessungen bei Körpern nach dem Deep-Mixing-Verfahren

(1) Der bei einer Bemessung ansetzbare Querschnitt von Elementen, die im Deep-Mixing-Verfahren hergestellt werden, ergibt sich aus den Außenabmessungen der verwendeten Mischwerkzeuge. Bei nebeneinander angeordneten, um eine senkrechte Achse rotierenden Mischwerkzeugen ist von einer geringeren Abmessung im Zwickelbereich von 20 % des Mischwerkzeugdurchmessers auszugehen. Durch wiederholtes Überschneiden der Zwickelbereiche können die Einschnürungen verringert werden. Minimal sind 10 % zu berücksichtigen.

4.4.6.4 Abmessungen bei Injektionskörpern

(1) Die Abmessungen von Injektionskörpern sind aus örtlichen Probeinjektionen (Eignungsprüfungen) zu bestimmen, sofern keine dokumentierten Erfahrungen in ähnlichen Bodenverhältnissen und mit gleicher Verfahrenstechnik vorliegen.

(2) Bei der Bemessung von Injektionskörpern sind die charakteristischen Abmessungen maßgebend. Die Art des Herstellungsverfahrens sowie die vorhandenen Schichtungen und Inhomogenität im Baugrund sowie Filtrationseffekte sind zu berücksichtigen. Zum Nachweis der charakteristischen Abmessungen und der erforderlichen Vorhaltemaße sind Eignungsprüfungen durchzuführen.

4.5 Dauerhaftigkeit

(1) Wenn Frost nicht ausgeschlossen werden kann, ist sein Einfluss beim Entwurf zu berücksichtigen.

(2) Wenn ein mäßiger (XA2) oder starker (XA3) chemischer Angriff nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 vorliegt oder es Hinweise auf Stoffe im Grundwasser oder Boden gibt, die das Erstarren oder Aushärten oder die Eigenschaften der Bodenverfestigung negativ beeinflussen, so ist die Eignung der eingesetzten Verfahren und Stoffe, im Fall von XA3 unter Einschaltung eines Sachverständigen, nachzuweisen.

4.6 Nachweis der Tragfähigkeit

(1) Es ist der Nachweis zu erbringen, dass die Bemessungswerte der Einwirkungen bzw. der Beanspruchungen nach 4.3 nicht größer sind als die zugehörigen Bemessungswerte der Widerstände nach 4.4 und damit die folgende Grenzzustandsbedingung erfüllen:

$$E_d \leq R_d \quad (6)$$

(2) Je nach Art des Bauteils sind zusätzlich zu dem unter (1) genannten Nachweis der inneren Tragfähigkeit weitere Grenzzustandsnachweise nach DIN 1054 und DIN EN 1997-1 zu erbringen.

(3) Vor allem beim Ansatz von Gewölben in Verfestigungskörpern ist die Aufnahme der Kräfte am Kämpfer unter Beachtung gebrauchstauglicher Verformungen nachzuweisen.

(4) Sobald ein Verfestigungskörper — selbst nur einseitig — freigelegt wird, muss er bei Verzicht auf einen Knicksicherheitsnachweis eine Schlankheit $\lambda \leq 15$ aufweisen, mit

$$\lambda = s_k / i \quad \text{Schlankheit} \quad (7)$$

s_k Knicklänge

$$i = \sqrt{I_v / A_v} \quad \text{Trägheitsradius} \quad (8)$$

I_v Flächenmoment 2. Grades des kleinsten Querschnitts des Verfestigungskörpers

A_v Fläche des zu I_v gehörenden Querschnitts des Verfestigungskörpers

4.7 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

Es sind Nachweise nach DIN EN 1997-1:2009-09, 2.4.8, und DIN 1054:2010-12 zu führen.

4.8 Prüfungen und Kontrollen

(1) Für die Herstellung von Verfestigungskörpern sind Eignungsprüfungen durchzuführen um nachzuweisen, dass die geplanten Eigenschaften (Festigkeit, Steifigkeit, Durchlässigkeit) und die Abmessungen in der Örtlichkeit erreicht werden können.

ANMERKUNG Im Regelfall sollen Eignungsprüfungen vor der Baumaßnahme durchgeführt werden. Werden Eignungsprüfungen ausnahmsweise erst zu Beginn einer Baumaßnahme durchgeführt, muss nachgewiesen sein, dass bei Nichterreichen der geplanten Festigkeit oder Abmessungen geeignete Zusatzmaßnahmen durchgeführt werden können.

(2) Liegen Eignungsprüfungen bei gleichartigen Baugrundverhältnissen, bei Verwendung gleicher Ausgangsstoffe und Anwendung gleicher Einbringverfahren und gleicher Verfahrensparameter vor, kann auf eine erneute Eignungsprüfung verzichtet werden.

(3) Vor der Inanspruchnahme von Verfestigungskörpern sind Kontrollprüfungen durchzuführen, um das Erreichen der festgelegten Anforderungen nachzuweisen.

Anhang A (normativ)

Durchführung von Festigkeitsprüfungen

A.1 Die Druckfestigkeitsuntersuchungen zur Ermittlung der charakteristischen Festigkeit sind an Probekörpern vorzunehmen, die aus dem hergestellten Verfestigungskörper (z.B. Bohrkerne oder Linerproben) entnommen wurden. Die Zeit von der Herstellung der Verfestigung bis zu den Festigkeitsprüfungen darf nicht größer sein als die Zeit bis zur Beanspruchung des Verfestigungskörpers. Dies gilt für die Eignungs- und auch Kontrollprüfungen. Nach der Entnahme sind die Proben bis zur Prüfung vor Feuchtigkeitsverlust geschützt und bei einer Temperatur von 15 °C bis 22 °C zu lagern.

A.2 Zur Festlegung der Probenentnahme ist der Verfestigungskörper in Abschnitte zu unterteilen, für die jeweils einheitliche Bodenverhältnisse vorliegen sowie gleiche Herstellungsparameter und -abläufe gelten. Für jeden Abschnitt wird die charakteristische Festigkeit ermittelt. In besonderen Fällen kann es notwendig sein, besondere Bauteile als eigenen Verfestigungsabschnitt zu behandeln.

A.3 Von jedem Probeelement und aus jedem Verfestigungsabschnitt sind mindestens 4 Proben zu entnehmen. Für Verfestigungsabschnitte mit mehr als 500 m³ Volumen wird mindestens je 125 m³ eine Einzelprobe entnommen. Wird die Verfestigung in Tonen, Sand-Ton-Gemischen, Kies-Ton-Gemischen oder schwach organischen Böden durchgeführt, ist die Anzahl der zu untersuchenden Probekörper zu verdoppeln.

A.4 Probekörper sind dort zu entnehmen, wo die geringsten Festigkeiten des Verfestigungsabschnitts erwartet werden. Hierzu sind Auffälligkeiten bei der Herstellung und beim DS-Verfahren die Qualität des Rücklaufs zu bewerten.

A.5 Die einaxiale Druckfestigkeit von Material mit hydraulischen Bindemitteln im Sinn dieser Norm bezieht sich auf zylindrische Prüfkörper mit einem Durchmesser von $d \geq 80$ mm und einem Verhältnis Höhe zu Durchmesser von $h:d = 2$. Bei Würfeln ($a \geq 150$ mm) und Zylindern mit $h:d = 1$ ist eine Abminderung mit 0,8 vorzunehmen. Zwischen $h:d = 1$ und $h:d = 2$ darf linear interpoliert werden.

A.6 Der Durchmesser bzw. die Kantenlänge des Probekörpers sollte mindestens das 6-fache des Größtkorndurchmessers betragen.

A.7 Die Druckfestigkeitsprüfung ist nach DIN EN 12390-3 unter Beachtung von DIN 12390-2:2001-06 durchzuführen. Bei Bohrkernen ist DIN EN 12504-1 anzuwenden. Die Belastungsgeschwindigkeit sollte maximal 0,05 N/(mm²·s) betragen. Bei Zylinderdruckfestigkeiten von $f_m > 4$ N/mm² darf die Belastungsgeschwindigkeit bis auf 0,2 N/(mm²·s) erhöht werden.“

Anhang B (normativ)

Durchführung von Kriechversuchen

B.1 Allgemeines

Es sind zylindrische Proben mit einem Verhältnis Höhe zu Durchmesser von $h:d = 2:1$ und einem Durchmesser von ≥ 80 mm zu verwenden. Nach der Entnahme sind die Proben bis zur Prüfung gegen Feuchtigkeitsverlust zu schützen. Der Kriechversuch wird mit einer zentrisch aufgebracht, konstanten Belastung der Probe durchgeführt.

Die Verformung der Proben ist zu folgenden Zeiten zu messen:

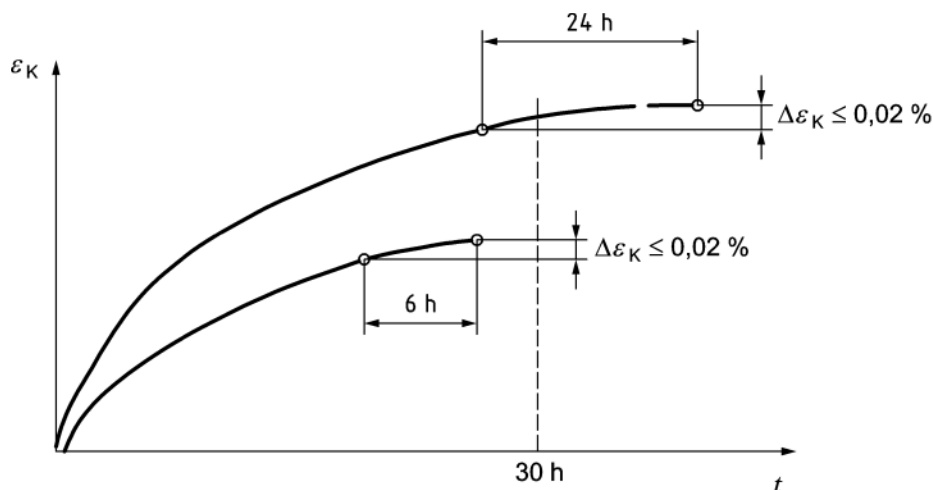
- Sofortsetzung beim Aufbringen der Belastung;
- 1 min, 3 min, 8 min, 15 min, 30 min, 60 min;
- 2 h, 4 h, 6 h, 24 h, 30 h;
- danach etwa alle 24 h.

B.2 Bodenverfestigungen mit Zement

Die aufzubringende Prüfbeanspruchung beträgt $\sigma_{cr} = 0,5 \times f_{m,k}$.

Der Kriechversuch gilt als bestanden, wenn bis zu einer Belastungszeit von 30 h das Verformungskriterium von $\Delta\varepsilon_K \leq 0,02\%$ in den letzten 6 h bzw. bei längerer Beobachtungszeit in den letzten 24 h eingehalten wird.

ANMERKUNG Bild B.1 zeigt Beispiele von zwei Versuchen, die beide als bestanden gelten.



Legende

ε_K Kriechdehnung
 t Belastungsdauer

Bild B.1 — Anforderungen im Belastungsdauer-Kriechverformungs-Diagramm

DIN 4093:2015-11

B.3 Bodenverfestigungen mit Silikatgel

Beim Einsatz von Silikatgel ist vor Baubeginn dessen Eignung nachzuweisen. Dafür sind Grundsatzprüfungen erforderlich. Bis zum Belastungsbeginn nach sieben Tagen sind die Proben gegen Austrocknen zu schützen. Im Grundsatzversuch ist an 3 Proben unter konstanter Belastung von $\sigma = 0,5 \text{ N/mm}^2$ ein stabiles Verhalten nachzuweisen. Dies ist erreicht, wenn in den letzten 168 h

- $\Delta \varepsilon_K \leq 0,01 \%$ bei einer Belastungszeit $< 800 \text{ h}$,
- $\Delta \varepsilon_K \leq 0,02 \%$ bei einer Belastungszeit $= 960 \text{ h}$

ist. Die Grundsatzversuche sind im Labor mit zwei Prüfsanden (siehe Bild B.2) durchzuführen.

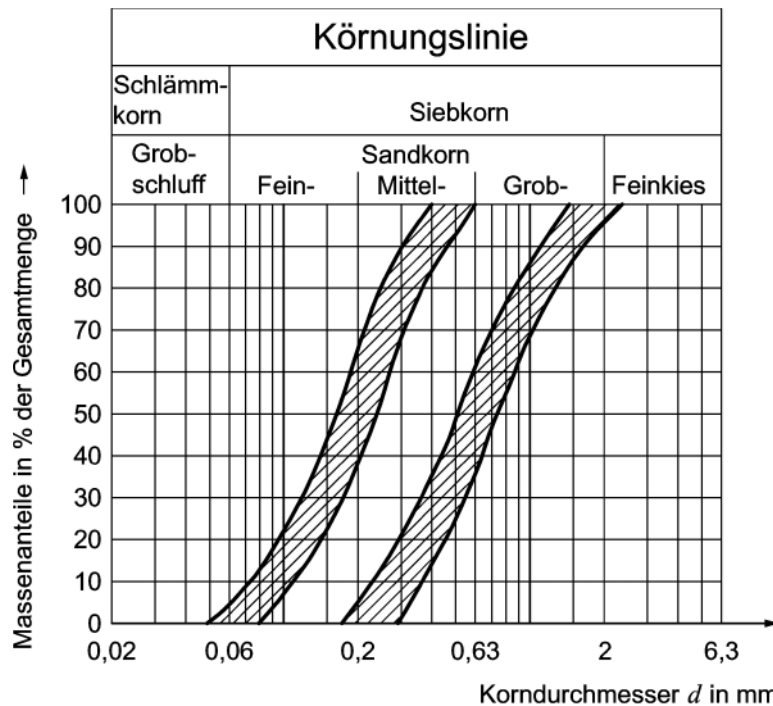


Bild B.2 — Körnungsbereiche der Prüfsande für die Grundsatzprüfung bei Silikatgel

Nach bestandener Grundsatzprüfung kann das Silikatgel für Baumaßnahmen eingesetzt werden.

Eignungsprüfungen: Liegen keine Erfahrungen in ähnlichen Bodenverhältnissen vor, sind Kriechversuche an Proben aus örtlichen Probeinjektionen durchzuführen. Dabei ist der Beginn der Kriechversuche entsprechend dem Belastungsbeginn am herzustellenden Verfestigungskörper zu wählen.

Auf jeder Baustelle sind Kontrollprüfungen vorzunehmen, die abzuschließen sind, bevor der herzustellende Verfestigungskörper belastet wird.

Bei Eignungs- und Kontrollprüfungen beträgt die aufzubringende Prüfbeanspruchung $\sigma_{cr} = 0,4 \cdot f_{m,k}$. Wenn keine Zylinderdruckfestigkeit bestimmt wird oder der Kriechversuch erfolgreich nur mit einer entsprechend geringen Prüfbeanspruchung durchgeführt wird, kann eine rechnerische charakteristische Zylinderdruckfestigkeit $f_{m,k}$ aus dem 2,5fachen der Spannung ermittelt werden, mit der der Kriechversuch bestanden wird.

An mindestens 3 Proben ist nachzuweisen, dass in den letzten 6 h

- $\Delta\varepsilon_k \leq 0,02 \%$ bei einer Belastungszeit ≤ 30 h,
- $\Delta\varepsilon_k \leq 0,005 \%$ bei einer Belastungszeit ≤ 168 h

bzw. in den letzten 24 h

- $\Delta\varepsilon_k \leq 0,02 \%$ bei einer Belastungszeit ≤ 168 h

eingehalten wird.

